

Faszination Kommunikationstechnik: Digitalübertragung – Nanoelektronik – Photonik

Ebeling, Karl Joachim

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 2010 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.147-150



J. Cramer Verlag, Braunschweig

Faszination Kommunikationstechnik: Digitalübertragung – Nanoelektronik – Photonik*

KARL JOACHIM EBELING

Institut für Optoelektronik, Universität Ulm
Albert-Einstein-Allee 45, D-89081 Ulm

1. Einleitung

Die Fortschritte der Kommunikationstechnik in den letzten 20 Jahren sind durchaus als revolutionär zu bezeichnen. Das klassische analoge Festnetztelefon ist längst vom multifunktionalen Mobiltelefon abgelöst. Jedermann ist immer und überall, zu jeder Zeit an jedem Ort der Erde per Handy erreichbar. Das Internet-Lexikon Wikipedia hat den Großen Brockhaus verdrängt, der inzwischen nur noch antiquarisch zu erhalten ist, da Neuauflagen nicht mehr gedruckt werden. Der gesamte Informationsgehalt des 14-bändigen Großen Brockhaus von etwa 50 Megabyte lässt sich bequem digital auf einem winzigen USB-Stick speichern, der kleiner ist als eine 1 Euro-Münze. Voluminöse, Platz raubende Röhrenfernseher werden durch Flachbildschirmgeräte ersetzt, die höhere Auflösung, brillantere Farbwiedergabe und geringeren Energieverbrauch aufweisen. Dank moderner Digitaltechnik beobachten wir eine zunehmende Konversion von Hörfunk, Fernsehen, Telephonie und Internet zu einem umfassenden individuellen Multimediainformationsangebot. Die Übertragung der anfallenden riesigen Datenmengen gelingt letztlich nur optisch über ausgeklügelte Glasfasersysteme, die hoch gezüchtete Laserdioden als Photonenquelle nutzen. Die Verarbeitung der Daten erfolgt mit Mikroprozessoren, die mehrere 100 Millionen CMOS-Transistoren enthalten und deren Leistungsfähigkeit gemäß dem Mooreschen Gesetz ständig ansteigt. Die folgenden Ausführungen geben einen Einblick in Grundlagen, Leistungsmerkmale und Anwendungsbeispiele moderner Kommunikationssysteme.

2. Digitale Kommunikationstechnik

Im Gegensatz zum klassischen Radioempfang, bei dem Schallsignale in analoger Technik naturgegeben elektrisch nachgebildet werden, arbeiten moderne

* Der Vortrag wurde am 30.04.2010 beim Kolloquium anlässlich der Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

Kommunikationssysteme grundsätzlich digital. Dabei werden Signale durch eine Folge von Nullen und Einsen binär kodiert, beispielsweise als elektrischer Strom oder auch als Licht, die ein- oder ausgeschaltet eine logische Null oder eine logische Eins repräsentieren. Digitale Informationsübertragung kennt man bereits aus der Antike von Fackeltelegraphen in Griechenland oder Rauchzeichentelegraphen im Römischen Reich, mit denen Signale über hunderte von Kilometern geschickt wurden. Eine modernere Variante ist das digitale ISDN-Telephon. Hierbei werden 64 000 Nullen oder Einsen pro Sekunde, entsprechend Bitraten von 64 kilobit/sec gesendet, um Sprache gut verständlich zu übertragen.

Qualitativ hochwertige Stereo-Musikwiedergabe mit dem Compact Disc Player (CD) erfordert weit höhere Datenraten von 1400 kilobit/sec, entsprechend 1.4 Megabit/sec. Mit CDs kann man typischerweise 74 Minuten lang Musik abspielen, was einer gespeicherten Datenmenge von 780 Megabytes entspricht. Fernsehfilme benötigen sogar noch höhere Übertragungsraten von 140 Megabit/sec, die sich jedoch mit effizienten Datenkompressionsverfahren ohne signifikanten Verlust an Bildqualität auf etwa 10 Megabit/sec absenken lassen. Auf DVD-Bildspeicherplatten mit einer Speicherkapazität von 4.4 Gigabyte können Filme oder Videos von zwei Stunden Dauer aufgezeichnet werden. CDs und DVDs von typisch 12 cm Durchmesser werden mit Lasern optisch abgetastet. Strukturen auf der Platte von weniger als einem Mikrometer Durchmesser definieren über die sich ändernde lokale optische Reflektivität Nullen und Einsen im abtastenden Laserstrahl. Noch weit kompaktere Speicher lassen sich seit wenigen Jahren elektronisch in Form eines sogenannten USB Stick realisieren. Speicherchips von 1 cm² Fläche erreichen Speicherkapazitäten von über 4 Gigabyte.

3. Datenübertragung über optische Glasfasern

Digitale Signale lassen sich elektrisch über Kupferdrähte oder hochfrequenztechnisch durch Funk über den freien Raum übertragen. Weit höhere Datenübertragungsraten und Reichweiten erzielt man jedoch bei der optischen Übertragung über Glasfasern, die, dünner als ein menschliches Haar, Durchmesser von nur 125 µm aufweisen. Durch schnelles Ein- und Ausschalten von Laserdioden werden Lichtsignalfolgen mit Datenraten von bis zu 20 Gigabit/sec erzeugt, die in Glasfasern eingekoppelt und am Streckenende sogar noch nach 100 km Länge von Photodioden fehlerfrei in elektrische Signale rückgewandelt werden. Durch Wellenlängenmultiplex, d.h. die parallele Übertragung von Lichtsignalfolgen verschiedener Lichtfarbe, konnten Gesamtübertragungsraten von nahezu unvorstellbaren 10 000 Gigabit/sec, also 10 Terabit/sec über eine einzige Faser demonstriert werden, mit der sich durch Verwendung von Regeneratoren Distanzen von mehreren 1000 km Länge überbrücken lassen. Das bedeutet, dass über eine einzige Glasfaser 150 Mio. Telefongespräche gleichzeitig übertragen werden können, womit die Hälfte aller Nordamerikaner mit

der Hälfte aller Westeuropäer gleichzeitig telefonieren könnte. Das ungeheure Potential der optischen Glasfasertechnik wird auch deutlich, wenn man bedenkt, dass mit Datenraten von 10 Terabit/sec der gesamte Informationsgehalt von 600 Mio. beschriebenen DIN A4-Seiten, einem Papierpacken von 5000 m Höhe, in einer einzigen Sekunde übermittelt werden kann. Die Übersendung eines zweistündigen Fernsehfilms gelingt gar im Bruchteil einer 300-stel Sekunde. Damit bleibt Zeit genug, mit intelligenter Bildverarbeitung in wenigen Augenblicken die interessantesten Szenen des Films herauszupicken und als Trailer zur Einstimmung auf den Film zu nutzen. Bis heute sind mehr als 1 Mio. Kilometer Glasfaserkabel verlegt und jedes Jahr kommen mehrere zehntausend Kilometer, insbesondere auch im Stadtgebiet und Teilnehmer-anschlussbereich hinzu. Das bedeutet, dass für den Internetnutzer künftig immer größere Datenraten zur Verfügung stehen und damit immer neue Diensteanwendungen ermöglichen.

4. Transistoren und Prozessoren

In den vergangenen 50 Jahren hat die Mikroelektronikindustrie epochemachende Entwicklungen hervorgebracht, angefangen von Transistorradio, Videorecorder, Personal Computer, Mobiltelefon und schließlich USB Stick, der vor nicht einmal 10 Jahren entwickelt wurde. In technischen Geräten, Fahrzeugen oder Anlagen sind Computer und Mikroprozessoren heute allgegenwärtig. Ihre Technologie ist ganz entscheidend bestimmt durch CMOS-Feldeffekttransistoren, die als elektronische Schalter logische Operationen durchführen. Leistungsfähige Prozessoren können mehrere 100 Mio. Transistoren enthalten, die mit Taktraten von 2 bis 4 GHz schalten. Gemäß dem Mooreschen Gesetz hat sich die Größe der Transistoren im Laufe der letzten vier Jahrzehnte exponentiell immer weiter verringert. Mit heutiger Technologie werden Transistoren mit charakteristischen Abmessungen (half-pitch) von 45 nm, entsprechend einer Transistor-Gatelänge von etwa 25 bis 30 nm in Massenproduktion gefertigt. Es ist damit zu rechnen, dass die weitere Reduzierung der Transistoren in den nächsten zehn Jahren an eine natürliche Grenze stoßen wird, die durch unvermeidbare Leckströme und schließlich die atomistische Struktur der Bauelemente bestimmt ist.

Die Produktion von Mikroprozessoren ist technologisch höchst anspruchsvoll und erfolgt unter Reinraumbedingungen. Die winzigen Transistorstrukturen werden photolithographisch mit UV-Licht von 193 nm Wellenlänge definiert und durch Trockenätzprozesse in Siliziumwafer übertragen. Die erforderliche Verdrahtung der Transistoren wird durch mehrere Kupfer-Metallisierungsschichten realisiert. Wirtschaftlich arbeitende Waferfabriken zur Produktion leistungsfähiger Mikroprozessoren mit mehreren 100 Mio. Transistoren pro Chip erfordern Investitionen von 5 bis 10 Mrd. Euro.

Mikroprozessoren sind Schlüsselkomponenten in der Kommunikations- und Informationstechnik. Sie steuern die Datenerfassung in Sensorelementen wie

Mikrofonen, Kamerachips oder Photodiodenarrays, sind verantwortlich für die Aufbereitung und Weiterverarbeitung der Daten und schließlich für die Wiedergabe und Darstellung im Audio- oder Videoformat. Prominente Einsatzfelder sind nahezu alle Bereiche der Mensch-Maschine-Interaktion, Bildverarbeitung, Robotik, Personalassistentz, Sichtverbesserung oder Displaytechnik. Die große Herausforderung ist die Beherrschung der wachsenden Komplexität der Prozessorarchitektur, die mit zunehmender Integration von immer mehr Transistoren auf einem Chip möglich wird. Damit lassen sich immer anspruchsvollere Probleme einer Lösung näher bringen, allerdings auf Kosten eines stetig größer werdenden, nahezu exponentiell anwachsenden Programmieraufwandes. Die Optimierung von Prozessarchitekturen hinsichtlich Leistungsverbrauch und Rechengeschwindigkeit bleibt eine der zentralen Herausforderungen insbesondere beim Einsatz in mobilen Systemen.

5. Ausblick

Bahnbrechende Fortschritte der Kommunikationstechnik wurden durch die Vergabe von Nobelpreisen für Erfindung integrierter mikroelektronischer Schaltkreise und hocheffizienter Laserdioden im Jahre 2000 sowie Realisierung dämpfungsärmster optischer Glasfasern und hoch sensitiver Videosensoren im Jahre 2009 gewürdigt. Der Datenverkehr im Internet steigt nach wie vor unaufhaltsam exponentiell an. Hochgeschwindigkeitsdatennetze auf der Basis von Glasfasern mit Datenraten von bis zu 100 Gigabit/sec werden schon in naher Zukunft zunehmend bis in den häuslichen Teilnehmeranschlussbereich vordringen. Die Prozessoren in den Endgeräten werden durch Verwendung von Multiplex- und Demultiplex-Techniken entsprechende Datensätze weiter verarbeiten und der vorgesehenen Anwendung zuführen. Wie heute schon Telephonie über das Internet erfolgt, wird künftig individuelles hochauflösendes Video über das Internet übertragen und womöglich sogar interaktiv situationsabhängige Filmgestaltung ermöglichen. Heute schon gängiges hoch auflösendes Fernsehen (HDTV) mit Flachbildschirmen wird durch Einführung dreidimensionaler stereoskopischer Bildwiedergabetechniken womöglich noch authentischer wirken. Virtuelle Realität wird den Videomarkt weiter zunehmend erobern, vielleicht auch Hilfsmittel sein für die Steuerung von Fahrzeugen in schwierigen Verkehrssituationen.

Es wird erwartet, dass der Trend der Entwicklung in der Kommunikationstechnik mindestens in den nächsten zehn Jahren weiterhin maßgeblich durch die Fortschritte der optischen Glasfasertechnik und der siliziumbasierten Mikroprozessortechnologie geprägt sein wird. Am Horizont aufkommende Quantencomputer werden klassische Verfahren der Digitaltechnik in den nächsten zwei Dekaden wohl kaum auf nennenswerte Weise verdrängen können.